

Title	核酸および蛋白質合成の情報理論(「自己組織・自己制御系の統計力学とその周辺」研究会報告,基研研究会報告)
Author(s)	塚本, 吉彦
Citation	物性研究 (1973), 20(2): A60-A63
Issue Date	1973-05-20
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/88618">http://hdl.handle.net/2433/88618</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

高次神経活動がすべて物理系と類似であると断定はできないが、類似した部分をつぶしていく必要がある。神経系のある器官に対して他の器官が環境決定として寄与するのか或いはいわゆる外場として寄与するのかについて意見のわかれるところである。いずれにせよ、環境によるゆらぎと構造形成の相乗効果が神経系活動にみられるという点で、従来の物理システムに類似していながらそれを多様化、複雑化したものと考えられる。

### 「核酸および蛋白質合成の情報理論」

阪大理 塚本吉彦

紙数も限られているので、鑄型のエントロピーと媒液のエントロピーの関数形を導出する部分を記述するに止めたい。

核酸および蛋白質合成反応は鎖の開始、伸長、終端の三相に大別される。鎖伸長相では合成部位が鑄型上を一段階ずつ位置移動するにともなって、鑄型単量体に相補的に対応する基質単量体が種別され、続く一連の重合過程によって付加される。これらの合成反応において遺伝的符号の読み取りが行なわれる機構について、現在次のような過程を想定しうるであろう。まず、合成の場の吸着部位に基質単量体が衝突し、相補性の判別のために接触する。塩基符号以外の部位で吸着が行なわれると考えるのが適当であろう。次に、その基質単量体が鑄型単量体に対して相補的な場合には、それはさらに強く吸着されて後続の重合反応が進むが、他方、非相補的な場合には、その基質単量体は吸着部位から離脱していく。非相補的な基質単量体が判別のために吸着部位を占有している期間には、相補的な基質単量体が衝突してもはねかえされて吸着部位に到達できないから、いわば類似物による可逆的拮抗阻害が起る。合成の場の吸着部位に到達できる衝突のみが選択のための接触が行なわれる実効衝突である。

通信工学においては、通報を二元符号の時系列に変換して伝送するが、その場合の個

個の二元符号は二者択一の選択操作を意味する。与えられた通報源を二元符号語で伝送する場合に、一つの通報あたりに必要な平均符号個数が定義される。その最小値として通報源のエントロピーがビット単位で計られる。それと同様に、鋳型を介する合成反応においては、吸着部位で実効衝突をくりかえす基質単量体がその種類の時系列をつくる。個々の実効衝突が相補的か非相補的かを定める選択操作を意味する。与えられた鋳型を介して分子鎖が合成される場合、一つの単量体あたりに必要な実効衝突（以下では単に衝突と呼ぶ）の平均回数が定義されれば、その最小値として鋳型のエントロピーが計られるのではないか。

〔F関数〕 鋳型は  $n$  種類の単量体から構成されたとする。第  $k$  種の出現確率  $p_k$  ( $\sum_{k=1}^n p_k = 1$ ) は含まれている単量体の個数の比率で与えられる。媒液にはそれぞれ対応する  $n$  種類の基質単量体が溶けているとする。合成によって消費された分を補給するホメオスタシス機構（負のフィードバック制御）を仮定すれば、それらの濃度は一定と考えられる。媒液の熱力学的なエントロピーの最大の状態（平衡状態）、すなわち媒液中の基質単量体の速度、混合比、濃度の均一性を仮定する。第  $k$  種の基質単量体の出現確率  $q_k$  ( $\sum_{k=1}^n q_k = 1$ ) は相対濃度で与えられる。ある時点に、ある種類の基質単量体が衝突する確率は、それ以前にどのような衝突をしてきたかに依存しないこと、すなわち基質単量体の種類の時系列において、それらの種類の相互の独立性を仮定する。第  $k$  種の鋳型単量体に対して、相補的な基質単量体が一回衝突するまでに必要な、種類を問わない基質単量体の平均衝突回数は、

$$\sum_{m=1}^{\infty} m \cdot q_k (1 - q_k)^{m-1} = \frac{1}{q_k}$$

これは、充分長い基質単量体の時系列において、平均して  $1/q_k$  回目に第  $k$  種が現われること、逆に言えば、時系列における第  $k$  種の相対頻度が、媒液における第  $k$  種の相対濃度  $q_k$  に等しいことを示している。すべての種類について平均した一つの鋳型単量体あたりに必要な平均衝突回数は、

$$F(q_1, \dots, q_n) = \sum_{k=1}^n \frac{p_k}{q_k} = p_1 \cdot \frac{1}{q_1} + \dots + p_n \cdot \frac{1}{q_n}$$

〔鑄型のエントロピー〕 F関数は、 $q_k = \sqrt{p_k} / G$  ( $k=1, \dots, n$ ) のとき、最小値  $G$  をとる。

$$G(A) = G(p_1, \dots, p_n) = \left( \sum_{k=1}^n \sqrt{p_k} \right)^2$$

G関数は通信の情報理論とのアナロジーから、鑄型のエントロピーとみなされる。このエントロピー関数によって遺伝的情報量が定義されるが、その単位を“cot” (collision unit) と名づけた。

$$G \leq F \quad \text{すなわち} \quad G/F \leq 1$$

したがって、一回の衝突は最大にして 1 cot の遺伝的情報量を担う。書き直せば、

$$G(A) = \frac{1}{\sum_k q_k^2}$$

すなわち  $G(A)$  は鑄型単量体の確率集合の関数として与えられるだけでなく、そのような最小値を実現する最適媒液における基質単量体の確率集合の関数としても表わされる。この表式のエントロピーは、鑄型のエントロピーを表わすというよりも、むしろ媒液の基質単量体の確率集合の関数として与えられる媒液のエントロピーが独自に定義され、その特殊な場合において、鑄型のエントロピーと媒液のエントロピーが一致することを示すものと考えられる。

〔媒液のエントロピー〕 一般に媒液のエントロピーは、基質単量体の確率の関数として、同じ表式で定義されるものとしよう。

$$M(C) = M(q_1, \dots, q_n) = \frac{1}{\sum_k q_k^2}$$

媒液中の一つの第  $k$  種の基質単量体が熱運動によって、他の種々の基質単量体と継起的に衝突をくりかえす過程で、他の第  $k$  種の基質単量体と衝突するまでに必要な種類を問わない基質単量体との衝突の平均回数は  $1/q_k$  である。また、すべての同種の基質単量体間の衝突に対して、第  $k$  種の基質単量体間の衝突が起こる確率は、 $q_k^2 / \sum_i q_i^2$  である。

$$M(C) = \sum_k \frac{q_k^2}{\sum_i q_i^2} \cdot \frac{1}{q_k} = \frac{1}{\sum_i q_i^2}$$

したがって、 $M(C)$  は同種の基質単量体間の衝突が一回起こるために必要な種類を問わない基質単量体間の衝突の平均回数である。

$G(A)$  と  $M(C)$  は変数変換によって互いに移行する。

$$p_k = \frac{q_k^2}{\sum_i q_i^2} \quad (k = 1, \dots, n) \text{ のとき,}$$

$$G\left(\frac{q_1^2}{\sum_i q_i^2}, \dots, \frac{q_n^2}{\sum_i q_i^2}\right) = M(q_1, \dots, q_n)$$

$$q_k = \frac{\sqrt{p_k}}{\sum_i \sqrt{p_i}} \quad (k = 1, \dots, n) \text{ のとき,}$$

$$M\left(\frac{\sqrt{p_1}}{\sum_i \sqrt{p_i}}, \dots, \frac{\sqrt{p_n}}{\sum_i \sqrt{p_i}}\right) = G(p_1, \dots, p_n)$$